饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊生长性能和营养物质消化代谢的影响

刘 融[1,2] 陶 慧[1] 张乃锋[1] 李发弟[2] 刁其玉[1,2*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京 100081；

2.兰州大学草地农业科技学院，兰州 730020）

摘 要：本试验研究了饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊生长性能和营养物质消化代谢的影响，旨在确定饲粮中适宜的棕榈油脂肪粉添加水平。选用 80 只体况良好、体重（30±1） kg 的 4 月龄湖羊公羊，随机分为 4 个组，每组 4 个重复，每个重复 5 只羊。试验配制 4 种饲粮，棕榈油脂肪粉的添加水平分别为 1%、3%、5%和 7%。饲养试验预试期 10 d，正试期 60 d。当试验羊平均体重达 40 kg 时，每组选 6 只接近平均体重的试验羊采用全收粪尿法进行消化代谢试验。消化代谢试验预试期 5 d，正试期 5 d。结果显示：1）1%组和 3%组的全期（1～60 d）平均日增重显著高于 5%组和 7%组（P<0.05）；全期干物质采食量随棕榈油脂肪粉添加水平的提高而线性降低（P<0.05）；3%组全期料重比显著低于其他各组（P<0.05）。2）干物质、有机物、粗脂肪和中性洗涤纤维表观消化率各组之间差异均不显著（P>0.05）。3）各组间能量代谢各指标差异均不显著（P>0.05）。4）氮表观消化率随棕榈油脂肪添加水平的提高而线性升高（P<0.05），沉积氮各组间差异不显著（P>0.05）。本试验条件下，综合育肥期湖羊生长性能、营养物质表观消化率、能量代谢和氮代谢指标，育肥期湖羊饲粮中适宜的棕榈油脂肪粉添加水平为 3%。

关键词：棕榈油脂肪粉；育肥期；湖羊；生长性能；消化代谢

中图分类号：S816 文献标识码：A 文章编号：

收稿日期：2018-05-17

基金项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项（2018）；国家肉羊产业技术体系建设专项（CARS-38）；

作者简介：刘 融（1996-），女，黑龙江牡丹江人，硕士研究生，从事反刍动物生物生理营养研究。E-mail： liurong_student@163.com

*通信作者：刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail： diaoqiyu@caas.cn

我国是世界养羊大国，羊肉产量位居世界第一，约占世界总产量的30%[1-2]。随集约化程度的加强，肉羊生产性能可以得到更大程度的发挥，合理的能量供应对肉羊育肥意义更加重要。在生产中，通常通过增加碳水化合物和脂肪来提升饲粮能量水平，满足反刍动物生长需要，但前者因具有易发酵产酸而导致反刍动物瘤胃酸中毒的特点而使得添加量受限[3]。同时，传统油脂水平的增加也会对瘤胃功能产生负面作用，有研究表明，脂肪可能会包裹纤维，使得纤维无法被微生物消化利用[4]；植物脂肪中高浓度的不饱和脂肪酸对瘤胃微生物具有毒性作用[5]。此外，也有研究表明脂肪结合微量元素会影响微生物利用和瘤胃功能[6-7]。近来年的研究重点是通过改变脂类在瘤胃中的理化性质来提高动物的生产性能。棕榈油脂肪粉以棕榈油为原料，通过化学氢化作用使其中的不饱和脂肪酸变为饱和脂肪酸，其熔点高于瘤胃温度，可使脂肪过瘤胃而不易分解，直接进入皱胃与十二指肠进行消化并在小肠吸收。因其利用率高，且过瘤胃不影响瘤胃微生物活动，成为目前使用较多饲用油脂[8]。近年来，国内外关于添加过瘤胃脂肪对反刍动物影响的研究比较丰富。研究表明奶牛饲粮中添加过瘤胃脂肪可以提高产奶量和乳脂率[9]，建议奶牛过瘤胃脂肪的添加水平为干物质采食量的3%。另外，对于肉用动物，很多研究表明饲粮中添加过瘤胃脂肪有利于增加反刍动物产肉量及饲料效率[10-12]。目前关于添加不同水平棕榈油脂肪粉对育肥期绵羊营养物质消化代谢影响的报道不多，且不同过瘤胃脂肪添加效果有差异，棕榈油脂肪粉在育肥期绵羊饲粮中适宜的添加水平仍需进一步的研究。因此，本试验拟在饲粮中添加不同水平的棕榈油脂肪粉，研究其对育肥期湖羊生长性能及营养物质消化代谢的影响，以期探究饲粮中适宜的棕榈油脂肪粉添加水平，为科学合理制订育肥期绵羊饲粮配方提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

本试验于2017年9月至2017年11月在江苏泰州西来原生态有限公司进行。

1.2 试验饲粮

以棕榈油脂肪粉（棕榈油脂肪粉购自天津正驰国际贸易有限公司，其脂肪酸组成如下：C14:0，1.5%；C16:0，71.2%；C18:0，7.5%；C18：1，9.6%；C18:2，1.7%；其他，8.5%）为主要脂肪来源，配制等氮不等能的 4 种饲粮，棕榈油脂肪粉的添加水平分别为 1%、3%、5%和 7%。试验饲粮压制为颗粒饲料，直径为 6 mm，长度为 4～6 cm，预混料由北京精准动物研究中心提供，其他原料由羊场提供。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups			
	1%	3%	5%	7%
原料 Ingredients				
玉米 Corn	31.5	27.5	25.0	24.5
麸皮 Wheat bran	3.0	5.0	5.0	2.5
豆粕 Soybean meal	11.5	11.5	12.0	13.0
花生秧 Peanutvine	12.0	12.0	12.0	12.0
豆秸 Beanstalk	38.0	38.0	38.0	38.0
棕榈油脂肪粉 Palm oil powder	1.0	3.0	5.0	7.0
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.0	1.0	1.0	1.0
石粉 Limestone	0.5	0.5	0.5	0.5
食盐 NaCl	0.5	0.5	0.5	0.5
预混料 Premix[1)]	1.0	1.0	1.0	1.0
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0

营养水平 Nutrient levels2)				
粗蛋白质 CP	11.84	11.76	11.72	11.70
总能 GE/(MJ/kg)	17.59	17.69	18.34	18.76
粗脂肪 EE	2.70	4.85	6.97	9.06
粗灰分 Ash	7.85	7.87	7.83	7.73
中性洗涤纤维 NDF	42.41	42.81	42.47	41.19
钙 Ca	1.14	1.14	1.13	1.13
磷 P	0.45	0.46	0.46	0.43

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 12 000 IU，VD 20 00 IU，VE 30 IU，Cu 12 mg，Fe 64 mg，Mn 56 mg，Zn 60 mg，I 1.2 mg，Se 0.4 mg，Co 0.4 mg，NaCl 6.4 g。

2) 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.3 试验设计

本试验采用单因素试验设计，以 80 只体重为(30±1) kg 的 4 月龄未去势湖羊公羊作为试验动物，将其随机分为 4 组（每组 4 个重复，每重复 5 只羊），分别饲喂棕榈油脂肪粉添加水平为 1%、3%、5%和 7%的试验饲料。饲养试验持续 70 d，其中预试期 10 d，正试期 60 d，每日记录采食量，每 15 d 称重 1 次，记录体重变化。当试验羊平均体重达 40 kg 时，每组选 6 只接近平均体重的试验羊，采用全收粪尿法进行消化代谢试验。消化代谢试验预试期 5 d，正试期 5 d，粪尿收集参考贾鹏等[13]的方法。

1.4 饲养管理

试验羊舍为半开放式羊舍。试验开始前 80 只试验羊均打耳号，免疫程序按羊场正规程序进行。每隔 15 d 对羊舍消毒 1 次（0.5%百毒杀、0.1%新洁尔灭）。每天 07：00 和 16：00 各饲喂 1 次，全期自由采食颗粒料、自由饮水。饲养试验正试期开始后每日收集剩料，

计算每日干物质采食量。

1.5 测定指标与方法

1.5.1 饲粮常规营养成分含量测定

常规营养成分测定方法：总能使用 Parr-6400 氧弹式量热仪测定；粗蛋白质含量采用 KDY-9830 全自动凯氏定氮仪测定；干物质、粗脂肪、中性洗涤纤维、粗灰分、钙、磷等指标的含量参考《饲料分析及饲料质量检测技术》[14]测定。

1.5.2 生长性能

每天准确记录投料量及前 1 天剩料量，根据剩料量调整饲喂量以保证试验羊的自由采食。每隔 15 d 以每个重复为单位进行称重，并记录体重。通过以上数据计算干物质采食量、平均日增重和料重比。

1.5.3 消化代谢指标

消化代谢试验正试期内每天饲喂前称取投料量，第 2 天饲喂前称取剩料量，计算采食量；第 2 天晨饲前，全收粪并称重，称取总粪量的 10%并于自封袋中保存，每 100 g 鲜粪加 10%的稀硫酸 10 mL 用于固氮，每天按羊只分别混合后置于-20 ℃冰箱保存，待测；每天全收尿并记录尿量，收尿前于桶中加入 100 mL 10%的稀硫酸用于固氮，采样时先将尿样加自来水稀释至 5 L，后取 20 mL 尿样于收尿瓶中保存，每天按羊只分别混合后置于-20 ℃冰箱保存，待测。

消化代谢试验结束后将饲粮及剩料粉碎，经 40 目网筛过滤后，测定常规营养成分含量；粪样于 65 ℃条件下烘 48 h，自然条件下回潮 48 h 后称重，计算初水分，然后粉碎，经 40 目网筛过滤后，测定常规营养成分含量；尿样测定尿能和尿氮含量。

1.6 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2003 进行整理，采用 SPSS 22.0 统计软件的 ANOVA 过程进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，差异显著时用 Duncan 氏法进行多重比较，以 P<0.05 作为

差异显著性的判断标准，以 0.05≤*P*＜0.10 作为有变化趋势的标准。当受棕榈油脂肪粉添加水平影响的指标出现显著性差异时,进行线性反应和二次曲线反应的趋势分析。

2 结果与分析

2.1 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊生长性能的影响

2.1.1 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊平均日增重的影响

由表 2 可知，整个试验期内（1～60 d）各组羊只的平均日增重均在 200 g 以上，其中 1%和 3%组羊只的平均日增增重显著高于 5%组和 7%组（*P*<0.05），即棕榈油脂肪粉添加水平大于 3%后，平均日增重开始对平均日增重产生负面影响。此外，还可以看出，添加 3%棕榈油脂肪粉的增重效果在试验第 15 天后显现出来。

表 2 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊平均日增重的影响

Table 2 Effects of palm oil powder supplemental level on average daily gain of fattening *Hu* sheep g

时间 Time/d	组别 Groups				SEM	*P* 值	趋势分析 Trend analysis	
	1%	3%	5%	7%		*P*-value	线性 Linear	二次 Quadratic
1～15	279.30^{a}	233.33^{b}	176.33^{c}	215.67^{bc}	8.37	<0.001	<0.001	0.005
16～30	255.33	283.51	260.33	290.33	7.26	0.242	0.206	0.950
31～45	200.89^{a}	148.63^{b}	211.67^{a}	144.31^{b}	7.82	0.001	0.097	0.593
46～60	210.56	243.11	215.42	188.48	10.15	0.322	0.336	0.152
1～60	236.59^{a}	248.93^{a}	211.30^{b}	206.13^{b}	4.33	0.001	<0.001	0.268

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），不同大写字母表示有变化趋势（0.05≤*P*<0.10）。

下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant different (P<0.05), values with different capital letter superscripts mean change trend (0.05≤P<0.10). The same as below.

2.1.2 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊干物质采食量的影响

由表 4 可知，整个试验期内羊只的干物质采食量随饲粮棕榈油脂肪粉添加水平的提高而线性减少（P<0.05），1%组显著高于其他各组（P<0.05），3%组和 5%组显著高于 7%组（P<0.05）。

表 3 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊干物质采食量的影响

Table 3 Effects of palm oil powder supplemental level on dry matter intake of fattening *Hu* sheep g/d

时间 Time/d	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value	趋势分析 Trend analysis	
	1%	3%	5%	7%			线性 Linear	二次 Quadratic
1～15	1 418.66^{a}	1 342.63^{b}	1 319.28^{b}	1 324.89^{b}	12.75	0.005	0.002	0.032
16～30	1 655.50^{a}	1 548.95^{b}	1 507.16^{b}	1 523.73^{b}	21.10	0.035	0.013	0.090
31～45	1 660.13^{a}	1 499.15^{b}	1 484.47^{b}	1 403.05^{b}	30.52	0.007	0.001	0.362
46～60	1 669.71^{a}	1 545.52^{ab}	1 570.38^{ab}	1 444.27^{b}	28.12	0.021	0.005	0.982
1～60	1 600.67^{a}	1 487.36^{b}	1 469.60^{b}	1 421.23^{c}	9.31	<0.001	<0.001	0.005

2.1.3 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊料重比的影响

由表 4 可知，整个试验期内料重比随饲粮棕榈油脂肪粉添加水平的提高有二次变化的趋势（0.05≤P<0.10），羊只进食棕榈油脂肪粉添加水平为 3%的饲粮可以获得最高的饲料利用

率，即3%组的料重比显著低于其他各组（P<0.05），提升棕榈油脂肪粉添加水平（5%组、7%组）后料重比则显著下降（P<0.05）。在试验的前15 d（1～15 d），5%组的料重比显著高于其他各组（P<0.05），1%、3%和7%组的料重比差异不显著（P>0.05），此后3%组一直保持较高的饲料利用率直至试验结束。

表4 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊料重比的影响

Table 4 Effects of palm oil powder supplemental level on feed to gain ratio of fattening *Hu* sheep

时间 Time/d	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value	趋势分析 Trend analysis	
	1%	3%	5%	7%			线性 Linear	二次 Quadratic
1～15	5.32^{b}	6.25^{b}	7.57^{a}	6.17^{b}	0.28	0.015	0.055	0.014
16～30	6.50	5.79	5.83	5.27	0.18	0.111	0.026	0.816
31～45	8.46	8.86	6.38	8.70	0.44	0.148	0.624	0.248
46～60	8.92	6.39	7.41	8.32	0.42	0.157	0.823	0.044
1～60	6.95^{a}	5.98^{b}	6.91^{a}	6.80^{a}	0.13	0.035	0.667	0.092

2.2 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊营养物质表观消化率的影响

由表5可知，棕榈油脂肪粉添加水平主要影响各营养物质的摄入量及排出量，但并不能显著影响其表观消化率（P>0.05）。随饲粮棕榈油脂肪粉添加水平的提高，干物质、有机物和中性洗涤纤维的摄入量线性减少（P<0.05），干物质排出量有线性减少的趋势（0.05≤P<0.10），粗脂肪摄入量及排出量线性增加（P<0.05）。在各组中，3%组的干物质、有机物、粗脂肪表观消化率最高，分别达65.20%、69.05%、82.33%，但各组之间差异均不显著（P>0.05）。

表 5　饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊营养物质表观消化率的影响

Table 5　Effects of palm oil powder supplemental level on nutrient apparent digestibility of fattening *Hu* sheep

项目 Items	组别 Groups 1%	3%	5%	7%	SEM	*P* 值 *P*-value	趋势分析 Trend analysis 线性 Linear	二次 Quadratic
干物质 DM								
摄入量 Intake/g	1 625.93^{a}	1 357.73^{b}	1 410.19^{ab}	1 283.91^{b}	46.22	0.035	0.012	0.386
排出量 Excretion/g	584.47^{A}	472.07^{AB}	500.75^{AB}	451.76^{B}	20.41	0.087	0.036	0.405
表观消化率 Apparent digestibility/%	64.07	65.20	64.60	65.03	0.61	0.928	0.692	0.792
有机物 OM								
摄入量 Intake/g	1 498.27^{a}	1 250.90^{b}	1 299.71^{ab}	1 184.67^{b}	42.55	0.036	0.013	0.381
排出量 Excretion/g	474.07	386.84	410.16	373.06	16.23	0.111	0.047	0.414
表观消化率 Apparent digestibility/%	68.40	69.05	68.50	68.65	0.55	0.982	0.967	0.834
粗脂肪 EE								
摄入量 Intake/g	43.96^{d}	65.84^{c}	98.27^{b}	116.36^{a}	6.47	<0.001	<0.001	0.700
排出量 Excretion/g	11.96^{b}	11.69^{b}	19.96^{ab}	23.28^{a}	1.72	0.023	0.004	0.544
表观消化率 Apparent digestibility/%	72.84	82.33	80.19	80.22	1.50	0.117	0.119	0.106
中性洗涤纤维 NDF								
摄入量 Intake/g	689.54^{a}	581.26^{b}	598.85^{ab}	528.88^{b}	20.07	0.021	0.005	0.577
排出量 Excretion/g	398.30	342.61	338.98	302.24	14.94	0.132	0.028	0.738
表观消化率 Apparent digestibility/%	42.57	41.04	43.54	43.09	1.20	0.917	0.721	0.836

2.3　饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊能量代谢的影响

由表 6 可知，饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊能量代谢无显著影响（P>0.05），即各组羊只的摄入总能、粪能、尿能、消化能、代谢能、总能表观消化率、总能代谢率、消化能代谢率差异均不显著（P>0.05）。

表 6　饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊能量代谢的影响

Table 6　Effects of palm oil powder supplemental level on energy metabolism of fattening *Hu* sheep

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value	趋势分析 Trend analysis	
	1%	3% P	5%	7%			线性 Linear	二次 Quadratic
摄入总能 GE intake/(MJ/d)	28.61	24.02	25.87	24.09	0.78	0.116	0.081	0.345
粪能 FE/(MJ/d)	9.78	8.10	8.75	8.15	0.33	0.238	0.146	0.404
尿能 UE/(MJ/d)	0.53	0.44	0.43	0.40	0.03	0.369	0.104	0.650
消化能 DE/(MJ/d)	18.83	16.42	16.87	15.93	0.50	0.154	0.059	0.452
代谢能 ME/(MJ/d)	16.02	13.97	14.46	13.61	0.43	0.176	0.073	0.483
总能表观消化率 Apparent digestibility of GE/%	65.84	65.97	65.40	66.29	0.60	0.969	0.887	0.770
总能代谢率 Metabolizability of GE/%	55.95	55.96	55.78	56.66	0.57	0.956	0.717	0.919
消化能代谢率 Metabolizability of DE/%	84.96	85.12	85.51	85.45	0.18	0.690	0.262	0.767

甲烷能按摄入总能的 8%进行估测[15]。

2.4　饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊氮代谢的影响

由表 7 可知，随着饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平的提高，摄入氮、粪氮和总排出氮线性减少（P<0.05），尿氮有线性减少的趋势（0.05≤P<0.10）；氮表观消化率随着饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平的提高线性增加（P<0.05），其中 1%组显著低于 7%组（P<0.05），3%

组、5%组和 7%组之间差异不显著（*P*>0.05）。沉积氮、氮利用率和氮生物学价值各组间差异不显著（*P*>0.05）。

表 7　饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊氮代谢的影响

Table7　Effects of palm oil powder supplemental level on N metabolism of fattening *Hu* sheep

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P*-值 *P*-value	趋势分析 Trend analysis	
	1%	3%	5%	7%			线性 Linear	二次 Quadratic
摄入氮 N intake/(g/d)	30.79^{a}	25.54^{b}	26.45^{ab}	24.03^{b}	0.89	0.026	0.009	0.358
粪氮 Fecal N /(g/d)	10.76^{a}	8.52^{ab}	8.42^{ab}	7.49^{b}	0.44	0.029	0.007	0.397
尿氮 Urinary N/(g/d)	12.75^{A}	10.66^{AB}	10.08^{B}	10.00^{B}	0.44	0.085	0.024	0.227
总排出氮 Total N excretion /(g/d)	23.51^{a}	19.77^{ab}	18.50^{b}	17.49^{b}	0.78	0.025	0.004	0.318
吸收氮 Absorbed N/(g/d)	20.03^{A}	17.50^{AB}	18.03^{AB}	16.54^{B}	0.49	0.066	0.020	0.559
沉积氮 Retained N/(g/d)	7.28	6.83	7.95	6.54	0.51	0.802	0.816	0.656
氮表观消化率 Apparent digestibility of N/%	65.18^{b}	67.52^{ab}	68.35^{ab}	70.38^{a}	0.65	0.028	0.004	0.891
氮利用率 Utilization efficiency of N/%	22.83	26.09	29.82	27.44	1.60	0.504	0.240	0.396
氮的生物学价值 Biological value of N/%	34.71	39.17	43.75	39.70	2.29	0.609	0.363	0.375

3　讨　论

3.1　饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊生长性能的影响

动物的生长性能是反映动物生长状况的重要指标之一。本试验中，干物质采食量随饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平的提高而线性降低，该试验结果与刘丰琴等[16]的研究结果一致。造成该结果的原因可能是动物本身有调节其干物质采食量使其消化能摄入量稳定在一定水平的机制，饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平的提高提升了饲粮能值，高水平棕榈油脂肪粉添加

组只需采食较少的饲粮就可满足需求的消化能[17]。但也有部分研究表明过瘤胃脂肪添加水平不会显著动物的影响干物质采食量[18-20]，Allen[21]利用多种处理产生的数据分析了不同来源脂肪的添加水平对泌乳奶牛干物质采食量的影响，得出脂肪酸钙水平提高可显著降低干物质采食量，氢化脂肪等其他脂肪来源对干物质采食量的影响趋势不一致，其中有部分显示降低干物质采食量，由此可知，试验结果的不同可能是由过添加瘤胃脂肪类型及试验动物种类差异导致的。平均日增重与干物质采食量直接相关，本试验结果表明平均日增重受到饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平的影响显著，适宜的棕榈油脂肪粉添加水平可以促进增重，而棕榈油脂肪粉添加水平过高或过低都不能发挥很好的作用，造成这种效果的原因可能是棕榈油脂肪粉添加水平的提高造成干物质采食量下降，且并未改善饲料效率。赖长华等[12]在 3 月龄肥育母羔饲粮中添加 10、20、30 g/（d·只）脂肪酸钙，羔羊日增重与饲料效率先上升后下降，与本试验结果一致。但 Zeedan 等[22]在 3～4 岁大马士革山羊饲粮中分别添加 0、3%和 5%的受保护脂肪，结果表明饲粮脂肪添加水平的提高会提升山羊的日增重和饲料效率，试验结果与本试验结果不完全一致，可能原因是产奶期能量负平衡导致日增重随采食量增加而提高。本试验及前人试验结果共同提示，棕榈油脂肪粉的添加水平应根据动物种类、生理阶段、饲粮能量水平及组成进行调整。

3.2　饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊营养物质表观消化率的影响

干物质消化率和有机物消化率是衡量动物生产性能、综合反映动物对饲粮消化特性的重要指标[23]。在本试验中，饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对干物质和有机物表观消化率的影响不显著。Franulic 等[24]在 3～4 月龄荷斯坦奶牛饲粮中分别添加 1.5％、3.0％和 6.0％的氢化脂肪和脂肪酸钙盐，结果表明脂肪添加水平对各营养物质表观消化率没有显著影响。王丽华[25]和邢壮等[26]试验表明，过瘤胃脂肪添加水平对干物质、中性洗涤纤维表观消化率的影响不显著，本试验结果与以上研究结果均一致。3%棕榈油脂肪粉添加水平时试验羊只在日增重和饲料效率方面的优势可能与 3%棕榈油脂肪粉添加水平时试验羊只具有较高的干物

质、有机物和粗脂肪表观消化率有直接关系。

关于添加过瘤胃脂肪对脂肪消化率的影响，多数研究表明过瘤胃脂肪添加会提高脂肪消化率，但也有不同的研究结果。Jenkins 等[27]在肉牛饲粮中补饲脂肪粉，结果发现所有氢化脂肪添加组都具有较低的脂肪酸消化率，Chan 等[28]认为奶牛饲粮补饲脂肪粉对全消化道的脂肪酸消化率没有显著影响。本试验结果表明，饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平的提高会导致粗脂肪摄入量及排出量的线性增加，但粗脂肪表观消化率不受饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平变化的显著影响，与邢壮等[26]的研究结果一致。而杨致玲等[29]的试验结果表明随过瘤胃脂肪添加水平的提高，晋南牛的粗脂肪表观消化率呈线性增加，造成试验结果差异的原因可能是由试验动物不同及过瘤胃脂肪类别不同导致的。关于饲粮中添加脂肪粉对育肥羊营养物质表观消化率影响的相关文献较少，故本文多引用牛的材料做旁证。

3.3　饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊能量代谢的影响

能量作为动物营养的基础，动物的所有活动都需要能量。饲粮中的能量主要来源于碳水化合物、脂肪和蛋白质[30]，饲粮经过胃肠道消化吸收进入体内，通过机体营养物质代谢途径等过程释放出 ATP，满足机体的能量需要[31]。不过，饲粮中的能量不能完全被动物利用，其中可被动物利用的能量为有效能[32]，从消化代谢来看，不同层次的有效能包括消化能、代谢能、净能维持净能、生产净能。本试验结果表明，提升饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平不会改变肉羊能量摄入量和能量利用率。Weiss 等[33]比较不同水平脂肪酸钙和氢化脂肪对能量代谢的影响，结果表明脂肪酸钙添加水平的提高会导致摄入总能的增加，而以氢化脂肪作为脂肪来源时，脂肪粉添加水平对总能摄入量无显著影响，与本试验结果一致。本试验中各组羊只消化能数值无显著差异，从一个侧面印证了前文提到干物质采食量随饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平提高而线性降低的原因可能是试验动物减少采食量以稳定消化能摄入量的猜想。另外，本试验中代谢能占消化能的比例为 0.85～0.86，与 NRC（1996）[34]中经验公式（代谢能=消化能×0.82）相近。目前关于棕榈油脂肪粉添加水平对育肥羊能量代谢影响的相关文

章较少，其具体机制还待进一步研究。

3.4 饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对育肥期湖羊氮代谢的影响

氮素是反刍动物的必需营养元素之一，氮素代谢即蛋白质代谢的实质[35]。在消化过程中，饲粮中一部分未消化的氮、内源分泌物与微生物包含的氮和代谢产生的尿素会随粪、尿排出体外，剩下的部分称作沉积氮，沉积氮能准确、直接地反映机体对饲粮氮的利用程度，是比氮表观消化率更重要的指标[36]。本试验中，随着饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平的提高，氮表观消化率线性增加，但由于干物质采食量降低导致氮摄入量线性下降，所以并未显著改善氮沉积。有研究表明，氮摄入量增加后粪氮排出量会有增加的趋势[37-38]，瘤胃过量的可降解蛋白质主要以尿氮的形式排出，则尿氮排出量会呈线性增加[39-40]，与本试验结果相同。关于脂肪添加水平对氮代谢的影响，前人研究结果并不一致，王丽华[25]和 Chan 等[28]的试验表明补饲不同水平脂肪粉，各组全消化道氮表观消化率没有显著差异。而邢壮等[26]试验表明增加脂肪粉补饲量可显著降低粪氮、氮沉积和粗蛋白质表观消化率。也有研究表明氮沉积率不受过瘤胃脂肪添加量的显著影响，但氮表观消化率会随脂肪粉添加水平的提升呈下降趋势[29]。本试验结果不同于前人研究结果，可能是饲喂条件不同和动物种类差异导致。在本试验中，低脂肪粉添加水平组摄入更多的蛋白质，导致氮的摄入量可能超过动物最大氮沉积需要，此时蛋白质过剩导致氮的排泄增加，氮利用率降低。另外，有研究表明过瘤胃脂肪会影响小肠对氮的消化率[41]。

4 结 论

① 育肥期湖羊饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平为 3%时，羊只增重效果最佳。

② 育肥期湖羊饲粮中添加 3%的棕榈油脂肪粉具有改善干物质、有机物和粗脂肪表观消化率的趋势。

③ 随着育肥期湖羊饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平的提高，氮表观消化率线性增加，氮沉积未受显著影响。

④ 育肥期湖羊饲粮中棕榈油脂肪粉添加水平对能量代谢没有产生显著影响。

参考文献：

[1] 万凡,赵江波,马涛,等.利用饲料原料中的营养成分和可消化营养成分含量建立肉羊常用蛋白质饲料原料代谢能的预测模型[J].动物营养学报,2017,29(5):1774–1784.

[2] 杨东,王文义,乔文,等.肉羊脂肪沉积及其调控手段[J].粮食与饲料工业,2016(1):51–55.

[3] HESS B W,MOSS G E,RULE D C.A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep[J].Journal of Animal Science,2008,86(14S):E188－E204.

[4] PATRA A K.A Meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production,digestibility and rumen fermentation in sheep,and a comparison of these responses between cattle and sheep[J].Livestock Science,2014,162:97–103.

[5] PANTOJA J,FIRKINS J L,EASTRIDGE M L,et al.Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1994,77(8):2341－2356.

[6] LUKASKI H C,CHOW C K.Dietary fatty acids and minerals[M].TEODORESCU C A，CRAIG-SCHMIDT M C.Fatty acids in foods and their health implications.Boca Raton:CRC Press,2007:631-646.

[7] MESSANA J D,BERCHIELLI T T,ARCURI P B,et al.Rumen fermentation and rumen microbes in Nellore steers receiving diets with different lipid contents[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2013,42(3):204－212.

[8] 滕佳伍.过瘤胃脂肪对反刍动物瘤胃代谢功能的影响研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2006.

[9] 李胜利.饲料营养与牛奶品质[C]//中国奶业协会 2004 年年会论文集.烟台:中国奶业协

会,2004:28–32.
[10] 滕佳伍,高玉鹏,穆淑琴,等.过瘤胃脂肪在反刍动物中的应用研究[J].中国畜牧兽医,2005,32(7):3–5.
[11] 高士争.脂肪酸钙添加剂提高荷斯坦肥育牛生产性能的研究[J].黄牛杂志,1999,25(2):22–23.
[12] 赖长华,孔路军,张玉清,等.硬脂酸钙对舍饲肥育羔羊生产性能和羊肉品质的影响[J].中国畜牧杂志,2002(1):29–30.
[13] 贾鹏,马涛,万凡,等.饲粮中添加不同生物制剂对杜寒杂交肉羊营养物质消化利用的影响[J].动物营养学报,2018,30(1):227–235.
[14] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].4 版.北京:中国农业大学出版社,2016.
[15] DENG K D,DIAO Q Y,JIANG C G,et al.Energy requirements for maintenance and growth of Dorper crossbred ram lambs[J].Livestock Science,2012,150(1/2/3):102–110.
[16] 刘丰琴,高婕,李建国,等.脂肪酸钙对中国荷斯坦牛干物质采食量产奶量及经济效益影响的研究[J].中国奶牛,2000(6):25–27.
[17] 王之盛,李胜利.反刍动物营养学[M].北京:中国农业出版社,2016.
[18] MARIA HASAN C P,PERERA A N F,PERERA E R K.Effect of different levels of dietary fat on nutrient utilization in small ruminants[J].Tropical Agricultural Research,1997,9:193－203.
[19] DE SOUZA R,ALCALDE C R,DE OLIVEIRA C A L,et al.Lactation curves and economic results of Saanen goats fed increasing dietary energy levels obtained by the addition of calcium salts of fatty acids[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2014,43(2):73－79.
[20] DE LABIO MOLINA B S,ALCALDE C R,HYGINO B,et al.Inclusion of protected fat in diets on the milk production and composition of saanen goats[J].Ciência e

Agrotecnologia,2015,39(2):164–172.
[21] ALLEN M S.Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2000,83(7):1598－1624.
[22] ZEEDAN K I I,KOMONNA O F,ETMAN K E I,et al.Using different levels and sources of fats and roughages in feeding goats.1-Effect on productive and reproductive performance[J].Egyptian Journal of Nutrition & Feeds,2010,13(1):61-80.
[23] 楼灿.杜寒杂交肉用绵羊妊娠期和哺乳期能量和蛋白质需要量的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014.
[24] FRANULIC N K,GONZALEZ M F,BAS M F.Effect of a hydrogenated fat oil (GHP) and a calcium salt of fatty acids (SCP) derived from the fish oil industry on the apparent digestibility of nutrients in calves[M]//Holyoke,Massachusetts:Yale University Press,2000:64–70.
[25] 王丽华.不同种类及水平过瘤胃脂肪对奶牛瘤胃发酵及血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.大庆:黑龙江八一农垦大学,2009.
[26] 邢壮,张微,莫放,等.肉牛过瘤胃脂肪进食量对营养物质消化、氮沉积和嘌呤衍生物排出量的影响[J].中国农学通报,2008,24(3):24–29.
[27] JENKINS T C,JENNY B F.Effect of hydrogenated fat on feed intake,nutrient digestion,and lactation performance of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1989,72(9):2316－2324.
[28] CHAN S C,HUBER J T,THEURER C B,et al.Effects of supplemental fat and protein source on ruminal fermentation and nutrient flow to the duodenum in dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1997,80(1):152－159.
[29] 杨致玲,张睿,张拴林,等.过瘤胃脂肪对晋南牛养分表观消化率及氮沉积的影响[J].核农学报,2018,32(4):809－816.

[30] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2001.

[31] 曾书秦.日粮能量水平对 7～10 月龄育成牛生长、消化代谢及瘤胃内环境的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2015.

[32] 杨莹,王薇薇,李爱科,等.高脂饲粮和高碳水化合物饲粮对大鼠脂肪代谢的影响[J].动物营养学报,2017,29(7):2603–2612.

[33] WEISS W P,WYATT D J.Digestible energy values of diets with different fat supplements when fed to lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2004,87(5):1446–1454.

[34] NRC.Nutrient requirements of beef cattle[S].7th ed.Washington,D.C.:National Academy Press,1996.

[35] 钟荣珍,谭支良.反刍动物瘤胃内微生物氮代谢动力学的研究进展[J].华北农学报,2009,24(增刊 1):208–213.

[36] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等.不同饲喂水平对肉用绵羊能量与蛋白质消化代谢的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(17):40–44.

[37] CASTILLO A R,KEBREAB E,BEEVER D E,et al.The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets[J].Journal of Animal Science,2001,79(1):247–253.

[38] MARINI J C,VAN AMBURGH M E.Partition of nitrogen excretion in urine and the feces of holstein replacement heifers[J].Journal of Dairy Science,2005,88(5):1778－1784.

[39] HRISTOV A N,ETTER R P,ROPP J K,et al.Effect of dietary crude protein level and degradability on ruminal fermentation and nitrogen utilization in lactating dairy cows[J].Journal of Animal Science,2004,82(11):3219–3229.

[40] AGLE M,HRISTOV A N,ZAMAN S,et al.The effects of ruminally degraded protein on rumen fermentation and ammonia losses from manure in dairy cows[J].Journal of Dairy

Science,2010,93(4):1625－1637.

[41] DOREAU M,FERLAY A,ELMEDDAH Y.Organic matter and nitrogen digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil[J].Journal of Animal Science,1993,71(2):499–504.

Effects of Palm Oil Powder Supplemental Level on Growth Performance and Nutrient Digestion and Metabolism of Finishing *Hu* Sheep

LIU Rong[1,2] TAO Hui[1] ZHANG Naifeng[1] LI Fadi[2] DIAO Qiyu[1,2*]

（1. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture*, *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou* 730020, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of palm oil powder supplemental level on growth performance and nutrient digestion and metabolism of finishing *Hu* sheep, and determine the proper supplemental level of palm oil powder in the diet of finishing *Hu* sheep. Eighty 4-month-old male *Hu* sheep weighed （30±1） kg were chosen and randomly assigned into 4 groups with 4 replicates per group and 5 sheep per replicate. Four diets were formulated, and the palm oil powder supplemental levels in the 4 diets were 1%, 3%, 5% and 7%, respectively. The feeding trial lasted for 15 days for adaptation, and 120 days for trial. When the average body weight of sheep was up to 40 kg, six sheep in each group were picked out for digestion and metabolism trial using total urine and fecal collection method. digestion and metabolism trial lasted for 5 days for adaptation, and 15 days for sampling. The results showed as follows: 1) the average daily gain of whole period in 1% group and 3% group was significantly higher than that in 5% and 7% groups (P<0.05); the dry matter intake of whole period linearly

declined as the palm oil powder supplemental level increasing (P<0.05); the feed/gain of whole period in 3% group was significantly higher than that in other groups (P<0.05). 2) The apparent digestibility of dry matter, organic matter, ether extract and neutral detergent fiber were not significantly different among groups (P>0.05). 3) There was no significant difference in each energy metabolism index among groups (P>0.05). 4) The apparent digestibility of nitrogen linearly was increased with the increase of palm oil powder level (P<0.05). There was no significant difference in retained nitrogen among groups (P>0.05). Under the present trial condition, synthesize the growth performance, nutrient apparent digestibility, energy metabolism and nitrogen metabolism indices, the proper supplemental level of palm oil powder in the diet of finishing *Hu* sheep is 3%.

Key words: palm oil powder; finishing *Hu* sheep; growth performance; digestion and metabolism